УДК 681.518.54

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ДАТЧИКИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Володимир Мартиненко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Технічний стан промислового обладнання оцінюють за змінами фізичних параметрів, що супроводжують зношування та порушення режиму роботи. Окремий вимірювальний канал відображає лише частину цих змін. Тому для обґрунтованого рішення про обслуговування потрібні узгоджене збирання сигналів, їх аналіз і зв'язок результатів із конкретним обладнанням. Інтелектуальні датчики поєднують вимірювання з первинним опрацюванням і передаванням даних, створюючи основу для такої діагностики [1; 2]. Мета роботи - систематизувати архітектуру автоматизованої діагностики промислового обладнання та визначити умови застосування різних методів аналізу даних датчиків.

Робота має оглядово-аналітичний характер. Зіставлено функції датчиків, способи передавання й опрацювання сигналів, три групи діагностичних алгоритмів та роль цифрового представлення обладнання. Для аналізу використано наукові публікації щодо інтелектуальних датчиків, прогнозного обслуговування й виявлення аномалій, а також стандарт ISO 23247-3:2021 щодо цифрового представлення виробничих елементів [1–5]. Експериментальне випробування запропонованої архітектури в межах цієї роботи не проводили.

Тип датчика визначають за ознакою несправності, яку необхідно виявити. Вібраційний сигнал застосовують для спостереження за підшипниками, валами та механічним дисбалансом; температурний - для виявлення перегрівання; сигнал струму - для контролю навантаження електроприводу; акустичний - для фіксації змін звукової картини роботи обладнання. Поєднання кількох параметрів дає змогу зіставляти відхилення різної фізичної природи, однак потребує узгодження часу вимірювання та режиму навантаження. Приклад спільного аналізу струму і зовнішнього магнітного потоку для діагностики асинхронного двигуна наведено в дослідженні [4].

Узагальнена архітектура охоплює послідовні функції: вимірювання на фізичному об'єкті; локальне фільтрування й передавання сигналів контролером; формування цифрового представлення стану обладнання; аналітичне виявлення відхилень; подання результату для ухвалення рішення про технічне обслуговування. Локальне опрацювання дає змогу передавати до вищого рівня підготовлені дані, а цифрове представлення пов'язує поточні показники з історією роботи об'єкта. Це представлення може стати складовою цифрового двійника за умови належної синхронізації з обладнанням. Роль цифрового представлення описує ISO 23247-3:2021, а застосування обчислень поблизу джерела даних у діагностиці аномалій показано в роботі [3; 5].

На аналітичному рівні доцільно розрізняти три групи методів. Правила та порогові значення є зрозумілими для перевірки, але мають обмежену здатність ураховувати змінні режими роботи. Гібридні методи поєднують правила зі статистичним аналізом або іншими моделями, проте потребують складнішого налаштування. Методи машинного навчання можуть враховувати взаємозв'язки між кількома сигналами, але їх застосування залежить від обсягу й якості даних для навчання та перевірки. Отже, вибір алгоритму слід пов'язувати не лише зі складністю обладнання, а й із доступними даними, вимогами до пояснення результату та умовами експлуатації [2; 3]. Перевагу одного класу алгоритмів за точністю в цій роботі не встановлено.

Для електромеханічного обладнання послідовність діагностики можна розглядати на прикладі електродвигуна. Дані про вібрацію характеризують механічний стан вузлів, струм відображає особливості електричного навантаження, а температура доповнює оцінку теплового режиму. Після первинної перевірки якості вимірювань ці сигнали порівнюють із допустимими межами або аналізують спільно. Результатом є повідомлення про відхилення та дані для його перевірки фахівцем; автоматичне визначення виду несправності можливе лише після налаштування й перевірки відповідної моделі на конкретному обладнанні [4].

За результатами порівняння запропоновано послідовність добору засобів: визначити вузол та ознаку відхилення, дібрати датчики, перевірити історію вимірювань і лише потім обрати алгоритм. Цей концептуальний порядок потребує налаштування для конкретного обладнання [1; 2; 4].

Впровадження такої системи залежить від сумісності датчиків із наявними контролерами, узгодженості форматів даних, якості зв'язку та захисту інформаційних каналів. Результат діагностики має надходити до системи диспетчерського контролю й, за потреби, до засобів планування технічного обслуговування. Узгоджений опис виробничого об'єкта допомагає пов'язати вимірювання з його цифровим представленням, проте сам по собі не забезпечує достовірного прогнозу залишкового ресурсу: для цього потрібні придатна історія спостережень і перевірена прогнозна модель [1; 2; 5].

Отже, аналіз джерел дав змогу пов'язати тип контрольованого параметра, спосіб опрацювання сигналу та клас діагностичного алгоритму в єдиній концептуальній схемі. Її практичне використання потребує вибору датчиків для конкретного агрегату, перевірки якості вимірювань і порівняльного випробування методів виявлення відхилень за однакових умов. Така перевірка є необхідною перед висновками про точність діагностики, скорочення простоїв або економічний ефект.

Список використаних джерел

1. Coito T., Firme B., Martins M. S. E., Vieira S. M., Figueiredo J., Sousa J. M. C. Intelligent Sensors for Real-Time Decision-Making. Automation. 2021. Vol. 2, no. 2. P. 62–82. DOI: 10.3390/automation2020004.

2. Pech M., Vrchota J., Bednář J. Predictive Maintenance and Intelligent Sensors in Smart Factory: Review. Sensors. 2021. Vol. 21, no. 4. Art. 1470. DOI: 10.3390/s21041470.

3. Huang H., Yang L., Wang Y., Xu X., Lu Y. Digital Twin-driven online anomaly detection for an automation system based on edge intelligence. Journal of Manufacturing Systems. 2021. Vol. 59. P. 138–150. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.02.010.

4. Zamudio-Ramírez I., Osornio-Rios R. A., Antonino-Daviu J. A. Smart Sensor for Fault Detection in Induction Motors Based on the Combined Analysis of Stray-Flux and Current Signals: A Flexible, Robust Approach. IEEE Industry Applications Magazine. 2022. Vol. 28, no. 2. P. 56–66. DOI: 10.1109/MIAS.2021.3114647.

5. ISO 23247-3:2021. Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 3: Digital representation of manufacturing elements. Geneva: ISO, 2021. URL: https://www.iso.org/standard/78744.html (дата звернення: 23.09.2026).

УДК 004.89:658.51

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

Вадим Співак

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Сучасний етап розвитку промислового та агропромислового секторів нерозривно пов'язаний із концепцією «Індустрія 4.0», фундаментом якої є кіберфізичні системи та промисловий Інтернет речей (IIoT) [1]. Як зазначають у своєму фундаментальному огляді R. Y. Zhong та співавтори, інтелектуальне виробництво вимагає переходу від ізольованих систем управління до глобально підключених мереж, здатних в режимі реального часу збирати та аналізувати дані з кожної одиниці обладнання [1]. Глобалізація ринків та постійне зростання вартості енергоресурсів диктують нові правила для підприємств: виживають та масштабуються лише ті виробництва, які здатні миттєво адаптуватися до змінних умов завдяки глибокій цифровізації технологічних процесів.

Метою дослідження є розробка концептуальної моделі інтеграції технологій IoT в автоматизовані системи управління для забезпечення безперервного моніторингу, адаптивного